

Requested Patent: FR2412852A1

Title: ;

Abstracted Patent: FR2412852 ;

Publication Date: 1979-07-20 ;

Inventor(s): BOSSENNEC JEAN-LOUIS GASTON; COLIN JEAN-MARIE HENRI ;

Applicant(s): LABO CENT TELECOMMUNICAT (FR) ;

Application Number: FR19770038830 19771222 ;

Priority Number(s): FR19770038830 19771222 ;

IPC Classification: G01S9/06 ;

Equivalents: ;

ABSTRACT:

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 77 38830

(54)

Perfectionnements aux radars Doppler à impulsions.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.²). **G 01 S 9/06.**

(22)

Date de dépôt 22 décembre 1977, à 15 h 39 mn.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 29 du 20-7-1979.

(71)

Déposant : LABORATOIRE CENTRAL DE TELECOMMUNICATIONS. Société anonyme,
résidant en France.

(72)

Invention de : Jean-Louis Gaston Bossennec et Jean-Marie Henri Colin.

(73)

Titulaire : *Idem* (71).

(74)

Mandataire :

La présente invention concerne un radar Doppler à impulsions, en particulier du type à multiples fréquences de répétition.

De manière connue, les radars Doppler à impulsions récurrentes permettent une excellente élimination des échos fixes. Pour cette raison, ils ont été largement utilisés pour la détection de cibles mobiles en présence d'un fort environnement d'échos fixes ou faiblement mobiles comme c'est le cas notamment pour les radars affectés à la surveillance du sol. Or, lorsque les cibles à détecter varient dans une large gamme de distances et de vitesses, on se heurte aux problèmes d'ambiguïté, tant en distance qu'en vitesse, dus au caractère répétitif du signal émis et aux phénomènes corollaires de distances et vitesses aveugles. Dans le but d'éviter ces inconvénients tout en conservant les qualités fondamentales des radars Doppler à impulsions, il a été proposé d'utiliser plusieurs fréquences de répétition non divisibles entre elles de sorte que, si une cible se trouve dans une zone aveugle pour une fréquence de répétition donnée, les autres fréquences de répétition utilisées permettent de la détecter. Une autre solution également connue consiste à faire varier selon une loi donnée la fréquence de répétition des impulsions autour d'une fréquence moyenne. Il est alors possible, par un choix judicieux des intervalles entre impulsions, d'éliminer toutes les ambiguïtés et, par suite, les zones aveugles. Par contre, lorsque les impulsions émises ne sont pas équidistantes, le récepteur radar n'est plus protégé contre les échos de retours multiples, c'est-à-dire les échos provenant de cibles situées à des distances supérieures à la distance maximum non ambiguë. On a décrit dans la demande de brevet n° 75 33045, déposée le 29 octobre 1975 par la demanderesse et intitulée : "Perfectionnements aux radars Doppler à impulsions", un radar Doppler à impulsions à multiples fréquences de répétition qui permet d'assurer la détection et de déterminer sans ambiguïté la localisation précise et la vitesse des cibles utiles. Le radar Doppler décrit dans ladite demande de brevet possède un émetteur cohérent qui émet un signal correspondant à une séquence répétitive de b blocs d'impulsions récurrentes. La fréquence de répétition des impulsions varie, à l'intérieur d'une même séquence, de manière aléatoire d'un bloc à un autre et les fréquences de répétition de deux blocs quelconques sont des nombres premiers entre eux. Le nombre d'impulsions est le même pour tous les blocs. Dans le système décrit, on est amené à fermer le récepteur pendant une durée correspondant aux premières impulsions de chaque bloc, afin d'éviter de recevoir des échos lointains provenant d'un bloc dans les portes en distance proches du bloc suivant. De plus,

deux autres impulsions par bloc sont éliminées en vue de la suppression des transitoires qui se produisent lors de la réouverture du récepteur. Or, le pouvoir de résolution en fréquence Doppler est d'autant plus réduit que le nombre N d'impulsions par bloc est faible, et le nombre N d'impulsions est par ailleurs fixé par la durée T d'observation d'une cible et par la fréquence de répétition des différents blocs. On voit donc que la résolution en fréquence Doppler ainsi que l'énergie reçue par le récepteur sont, dans le cas du système décrit dans la demande de brevet précitée, réduites du fait de l'élimination des échos lointains ou des échos de retours multiples et de la suppression des phénomènes transitoires à la réouverture du récepteur.

Aussi un objet de la présente invention est un radar Doppler à impulsions à multiples fréquences de répétition ne présentant pas les inconvénients précités.

15 Un autre objet de l'invention est un radar Doppler à impulsions à multiples fréquences de répétition permettant de résoudre le problème des échos de retours multiples sans aucune perte.

Un autre objet de l'invention est un radar Doppler à impulsions à multiples fréquences de répétition permettant d'avoir un plus grand nombre d'impulsions par bloc que dans le cas de la demande de brevet précitée.

20 Un autre objet de l'invention est un radar Doppler à impulsions à multiples fréquences de répétition permettant d'avoir un meilleur pouvoir séparateur en vitesse que dans le cas de la demande de brevet précitée.

Selon une caractéristique de la présente invention, un émetteur cohérent d'un radar Doppler à impulsions du type à multiples fréquences de répétition émet un signal qui correspond à une séquence répétitive de b blocs d'impulsions émis simultanément, les fréquences porteuses d'émission et les fréquences de répétition des impulsions étant différentes d'un bloc à un autre bloc.

30 Selon une autre caractéristique de l'invention, les fréquences de répétition des impulsions des différents blocs sont premières entre elles et sont réparties de manière aléatoire entre les différents blocs.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, le radar comprend :

- 35
- des moyens pour émettre b signaux de fréquences porteuses différentes, modulés par impulsions à des fréquences de répétition différentes ;
 - des moyens de transposition de fréquence et des moyens d'amplification à large bande des signaux reçus ; et

- b voies de réception et de traitement du signal pour détecter les cibles mobiles et déterminer sans ambiguïté leur distance et leur vitesse.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, le radar comprend en outre des moyens pour enregistrer pour chaque bloc les impulsions reçues par porte en distance et des moyens pour appliquer aux b voies de traitement du signal soit les impulsions reçues lorsqu'elles existent, soit lesdites impulsions enregistrées ou toute combinaison de celles-ci lorsque, pour le bloc et la période de récurrence considérés, la porte en distance correspondante est une porte aveugle.

- 10 D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'exemples de réalisation particuliers, ladite description étant faite à titre purement illustratif et en relation avec les dessins joints dans lesquels :
- la figure 1 montre une séquence des impulsions émises par le radar décrit
 - 15 dans la demande de brevet précitée ;
 - la figure 2 montre une séquence des impulsions émises par un radar en accord avec les principes de la présente invention ;
 - la figure 3 montre le diagramme fonctionnel d'un mode de réalisation possible de radar selon les principes de la présente invention ;
 - 20 - la figure 4 montre le diagramme fonctionnel d'un autre mode de réalisation d'un émetteur de radar selon les principes de la présente invention ; et
 - la figure 5 montre le diagramme fonctionnel d'un autre mode de réalisation d'un récepteur de radar selon les principes de la présente invention.

- La figure 1 montre le motif émis par le radar décrit dans la
- 25 demande de brevet précitée. Pendant le temps T d'observation d'une cible (c'est-à-dire le temps mis par l'antenne pour balayer une cible fixe ponctuelle), le radar émet une séquence de b trains d'impulsions (ou blocs) successifs. A chaque bloc i correspond un nombre m_i d'impulsions de même largeur transmises à une fréquence de répétition f_{ri} différente de celle des autres
- 30 blocs. Pour le bloc i, l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives est $K_i \Delta t$ (Δt désignant un incrément de temps) et la durée du bloc est $K_i m_i \Delta t$. Les fréquences de répétition des impulsions, différentes d'un bloc à un autre, sont réparties de manière aléatoire à l'intérieur d'une même séquence et les motifs sont identiques pour toutes les séquences. En pratique,
- 35 le nombre d'impulsions est le même pour tous les blocs. Pour un temps d'observation T et avec des fréquences de répétition f_{ri} donnés, le nombre maximum N d'impulsions par bloc est donné par la relation :

$$T = N \left(\frac{1}{f_{r1}} + \frac{1}{f_{r2}} + \dots + \frac{1}{f_{rb}} \right).$$

Le pouvoir de résolution en fréquence Doppler est égal à $\frac{f_{ri}}{N}$; il est donc d'autant plus faible que le nombre d'impulsions N est faible. Or, comme il a été indiqué précédemment, on est amené à supprimer des impulsions en fermant le récepteur radar pour éviter que les échos de retours multiples d'un bloc ne viennent gêner la réception des échos utiles correspondant au bloc suivant et, de plus, l'élimination des phénomènes transitoires qui se produisent à la réouverture du récepteur entraîne encore la suppression de deux autres impulsions par bloc. La fermeture du récepteur pendant une partie de la durée de chaque bloc a donc pour effet de réduire l'énergie reçue (et par suite la portée du radar) et de diminuer le pouvoir de résolution en fréquence Doppler, c'est-à-dire en vitesse.

Le problème des échos de retours multiples est résolu selon la présente invention, sans aucune perte, de la façon suivante. On émet simultanément b trains d'impulsions entrelacées avec des fréquences porteuses d'émission (F_1, F_2, \dots, F_b) différentes et des fréquences de répétition des impulsions ($f_{r1}, f_{r2}, \dots, f_{rb}$) différentes. En aucun cas il n'y a émission simultanée de plusieurs impulsions, mais on peut considérer qu'au niveau des trains d'impulsions l'émission est simultanée et que la réception sur les b fréquences est donc également simultanée. L'avantage principal de cette solution tient au fait que le nombre d'impulsions par bloc est égal à $N = T \cdot f_{ri}$, alors que dans le cas de la demande de brevet précitée, le nombre maximum d'impulsions par bloc est environ égal à $\frac{T}{b} \cdot \overline{f_r}$, (si $\overline{f_r} = \frac{1}{b} \sum f_{ri}$). Le schéma de la figure 2 montre le motif émis lorsque le nombre de trains d'impulsions est égal à trois. Le premier train d'impulsions, représenté en traits pleins, est émis avec une fréquence de répétition f_{r1} , le deuxième train d'impulsions, représenté en tirets, est émis avec une fréquence de répétition f_{r2} et le troisième train d'impulsions, représenté en pointillés, est émis avec une fréquence de répétition f_{r3} . Bien entendu, les fréquences de répétition des trois trains sont premières entre elles et les décalages entre les impulsions de trains différents sont déterminés de telle manière qu'il ne puisse y avoir deux impulsions de trains différents à émettre en même temps.

Les figures 3 à 5 montrent différents modes de réalisation possibles d'un radar Doppler à impulsions et à multiples fréquences de répétition en accord avec les principes de la présente invention. La solution choisie, qui consiste à émettre et recevoir simultanément les trois trains d'impulsions différents, implique qu'il y ait trois émetteurs et trois chaînes de réception et de traitement du signal, au lieu d'un émetteur et d'une chaîne de réception et de traitement du signal dans le cas du système décrit dans la demande de

brevet précitée. De plus, il est nécessaire, afin d'éviter leur détérioration, de bloquer les trois voies de réception chaque fois qu'une impulsion est émise et, dès lors, pour chaque voie de réception associée à un train d'impulsions de fréquence de répétition donnée, certaines portes en distance
 5 seront aveugles. En fait, comme, d'une période de récurrence à la suivante d'un train d'impulsions donné, les positions respectives des impulsions des autres blocs changent, ce ne sont jamais les mêmes portes qui sont aveugles d'une période à l'autre. Cependant, du fait de l'existence de ces portes aveugles, certaines impulsions seront manquantes. On pourra remédier à cet inconvénient
 10 en utilisant, au niveau du traitement du signal, un dispositif tel que décrit dans le brevet n° 73 25566 déposé par la demanderesse le 12 juillet 1973. Ce dispositif remplace l'échantillon manquant dans une porte en distance par un échantillon calculé à partir des échantillons reçus dans la même porte en distance pendant les deux périodes de répétition précédentes. Le dispositif
 15 utilise une mémoire qui conserve les échantillons reçus pour chaque porte en distance.

Comme il a trois émetteurs et trois chaînes de réception et de traitement du signal, le radar selon l'invention fonctionne en fait comme trois radars récurrents distincts, ce qui permet d'éliminer les échos de
 20 retours multiples parasites (c'est-à-dire les échos de retours multiples provenant de cibles fixes) et de localiser sans ambiguïté les échos de retours multiples utiles (c'est-à-dire les échos de retours multiples provenant de cibles mobiles) par comparaison entre les retards et les fréquences Doppler mesurés dans chaque voie. Comme on l'a vu précédemment, le pouvoir de réso-
 25 lution en fréquence Doppler est égal à $\frac{f \cdot r}{N}$ ou à $\frac{1}{T}$ puisque l'on a : $N = T \cdot f \cdot r$. Le pouvoir séparateur en fréquence Doppler du radar selon l'invention est sensiblement b fois meilleur que celui du radar décrit dans la demande de brevet précitée.

La figure 3 montre le diagramme fonctionnel d'un mode de réalisation
 30 possible d'un radar en accord avec les principes de la présente invention. Trois émetteurs 17, 18 et 19 émettent, sous la commande d'un circuit pilote 21 et d'un circuit d'horloge 20, des signaux à des fréquences d'émission données comprises respectivement entre les fréquences F1 et F2, F2 et F3, et F3 et F4, les fréquences F1 à F4 étant telles que : $F1 < F2 < F3 < F4$.
 35 Lesdits émetteurs comprennent des moyens d'oscillation, des moyens de modulation par impulsions et des moyens d'amplification à large bande (tels par exemple des tubes à ondes progressives ou T.O.P.). Par fréquence d'émission comprise entre F1 et F(i+1), il faut comprendre qu'à un instant donné cette fréquence d'émission est fixe, mais qu'elle est susceptible de prendre

plusieurs valeurs comprises entre F_i et $F_{(i+1)}$ de manière à pouvoir s'adapter à des conditions particulières (proximité d'autres émetteurs, brouillage, etc...). Les filtres 14, 15 et 16 ont respectivement une bande passante égale à F_2-F_1 , F_3-F_2 et F_4-F_3 . Ces filtres ont également pour effet d'éviter que

5 les signaux provenant d'un émetteur ne perturbent les autres émetteurs par l'intermédiaire des circulateurs 12 et 13. Les signaux engendrés par les émetteurs sont transmis à l'antenne 10 par l'intermédiaire des circulateurs 11, 12 et 13. Les signaux, reçus par l'antenne 10 et transmis au récepteur via le circulateur 11, subissent un changement de fréquence dans le mélangeur 22,

10 lequel est relié par ailleurs à un oscillateur local stable du circuit pilote 21. Les signaux à moyenne fréquence sont, après amplification (circuit 23) appliqués à trois voies de réception comportant chacune : un filtre passe-bande (circuits 24, 25 et 26), un amplificateur (circuits 27, 28 et 29), un discriminateur de phase (circuits 30, 31 et 32) et des moyens pour

15 remédier à l'absence de certaines impulsions (circuits 33, 34 et 35 et commutateurs 36, 37 et 38). Un ensemble de traitement du signal 100, qui a déjà été décrit dans la demande de brevet précitée, est associé aux trois voies de réception.

L'amplificateur 23 doit avoir une bande passante au moins égale

20 à F_4-F_1 , c'est-à-dire qu'il doit pouvoir passer les signaux reçus correspondant aux trois trains d'impulsions émis. Par contre, chacune des trois voies groupant les circuits 24, 27, 30 et 33 - 25, 28, 31 et 34 - 26, 29, 32 et 35 ne correspond qu'à un seul train d'impulsions et comporte donc en tête un filtre (24, 25 ou 26) à bande étroite. Les discriminateurs de phase 30, 31 et

25 32 permettent de réaliser une détection cohérente à l'aide des signaux de référence Ref1, Ref2 et Ref3 respectivement. Comme il a été mentionné ci-dessus, pour chaque voie de réception il existe des portes aveugles qui sont dues au fait que le récepteur est fermé chaque fois qu'une impulsion est émise. Or, comme à l'intérieur d'un train donné les positions respectives des

30 impulsions des autres trains varient d'une période de récurrence à la suivante, les portes aveugles ne sont donc pas les mêmes d'une période de récurrence à l'autre. On tire donc parti de cette caractéristique en utilisant un dispositif à mémoire 33, 34 ou 35 pour remédier aux impulsions manquantes. On peut utiliser pour ce faire un dispositif tel que décrit dans le brevet n° 73 25566

35 précité et qui consiste, au moins dans une variante, à transmettre pendant le temps correspondant à une porte aveugle l'impulsion reçue dans la même porte en temps, mais à la période de récurrence précédente. C'est ce principe qui est illustré schématiquement à la figure 3 à l'aide de mémoires 33, 34 et 35 et de commutateurs 36, 37 et 38. Les commutateurs 36, 37 et 38, qui permettent

la transmission soit des impulsions mémorisées, soit des impulsions normalement reçues par le récepteur, sont commandés par le circuit d'horloge 20. Il est, par ailleurs, bien évident que l'on peut, pour remplacer les impulsions manquantes, utiliser non seulement l'impulsion reçue à la période de
5 récurrence précédente mais aussi celles reçues pendant plusieurs périodes de récurrence précédentes, d'une manière équivalente à celle qui est également décrite dans le brevet précité. Les impulsions transmises par les commu-
tateurs 36, 37 et 38 sont ensuite traitées par l'ensemble de traitement du signal 100 qui a déjà été décrit dans la demande de brevet précitée. On
10 rappellera pour mémoire qu'il comporte un dispositif de filtrage à double soustraction 101, un calculateur de transformée de Fourier rapide 102, un détecteur de contraste 103, un détecteur automatique 104 et un extracteur 105 fournissant en sortie le couple distance-vitesse pour chaque cible utile que l'on peut visualiser sur un indicateur.

15 Les figures 4 et 5 montrent des variantes possibles de la partie émission (figure 4) ou de la partie réception (figure 5) du radar en accord avec les principes de l'invention. L'émetteur de la figure 4 comporte un circuit de commande ou générateur de motif 43 qui fournit à un circuit pilote 41 l'indication de la fréquence d'émission F_i et à un circuit modu-
lateur 42 l'instant d'émission t_i . Un amplificateur à large bande (tel par
20 exemple un tube à ondes progressives) amplifie les signaux à la fréquence choisie F_i modulés par les impulsions t_i . Dans ce type de montage un seul émetteur est requis au lieu de trois dans le cas de la figure 3.

Dans la variante du récepteur montrée à la figure 5, les signaux
25 reçus dans les trois voies correspondant aux trois trains d'impulsions émis sont transposés en fréquence dans les mélangeurs 51, 52 et 53 de manière à n'utiliser qu'un seul signal de référence Ref au niveau des discriminateurs de phase 57, 58 et 59. Pour cela, les signaux reçus par l'antenne 10 et transmis par le circulateur 11 sont amplifiés dans un amplificateur à large
30 bande 50 puis appliqués à l'entrée de trois circuits mélangeurs 51, 52 et 53 qui reçoivent de trois oscillateurs locaux stables des signaux aux fréquences OL1, OL2 et OL3 respectivement. Alors que dans le cas de la figure 3 la transposition de fréquence est identique pour tous les trains d'impulsions, selon la variante montrée à la figure 5 la transposition de fréquence est
35 spécifique à chaque voie correspondant à un train d'impulsions donné.

L'émission simultanée de plusieurs trains d'impulsions de fréquences de répétition différentes présente un certain nombre d'avantages par rapport à la solution choisie dans la demande de brevet précitée, à savoir l'émission successive de plusieurs trains d'impulsions de fréquences de répétition

différentes. Parmi ces avantages, on a déjà mentionné l'élimination des échos fixes lointains, sans qu'il soit nécessaire de supprimer certaines impulsions par bloc ou train, et un meilleur pouvoir de résolution en fréquence Doppler et donc en vitesse. Il faut encore noter que, dans le cas de la demande de brevet précitée, il est nécessaire de mémoriser les informations reçues pour les b blocs pour décider de la présence d'une cible dans une cellule donnée et que, selon l'invention, cette mémorisation n'est plus nécessaire puisque la réception des différents trains est, comme à l'émission, simultanée. Cet avantage s'accompagne d'une simplification du circuit extracteur par rapport à celui décrit dans la demande de brevet précitée. Par contre ces avantages sont obtenus, selon l'invention, au prix d'un matériel plus important tant pour l'émetteur que pour le récepteur. Cependant, dans bien des applications, le matériel doit être dupliqué pour répondre aux exigences de sécurité et, dès lors que les principes de l'invention peuvent encore s'appliquer avec seulement deux trains d'impulsions de fréquences de répétition différentes, l'inconvénient mentionné ci-dessus perd de son importance.

Bien que les principes de la présente invention aient été exposés en relation avec des exemples de réalisation particuliers, il est clair cependant que ladite invention n'est pas limitée à la description et qu'elle est susceptible de modifications ou de variantes sans sortir de son domaine.

REVENDEICATIONS

1. Radar Doppler à impulsions du type à multiples fréquences de répétition, caractérisé en ce que le signal est émis à l'aide d'un émetteur cohérent et qu'il correspond à une séquence répétitive de b blocs d'impulsions émis simultanément, les fréquences porteuses d'émission et les fréquences de répétition des impulsions étant différentes d'un bloc à un autre bloc.

2. Radar Doppler à impulsions selon la revendication 1, caractérisé en ce que les fréquences de répétition des impulsions des différents blocs sont premières entre elles, et en ce qu'elles sont réparties de manière aléatoire entre les différents blocs.

3. Radar Doppler à impulsions selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la largeur des impulsions émises est la même pour tous les blocs.

4. Radar Doppler à impulsions selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens pour émettre b signaux de fréquences porteuses différentes, modulés par impulsions à des fréquences de répétition différentes ;
- des moyens de transposition de fréquence et des moyens d'amplification à large bande des signaux reçus ; et
- b voies de réception et de traitement du signal pour détecter les cibles mobiles et déterminer sans ambiguïté leur distance et leur vitesse.

5. Radar Doppler à impulsions selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour enregistrer pour chaque bloc les impulsions reçues par porte en distance et des moyens pour appliquer aux b voies de traitement du signal soit les impulsions reçues lorsqu'elles existent, soit lesdites impulsions enregistrées ou toute combinaison de celles-ci lorsque, pour le bloc et la période de récurrence considérés, la porte en distance correspondante est une porte aveugle.

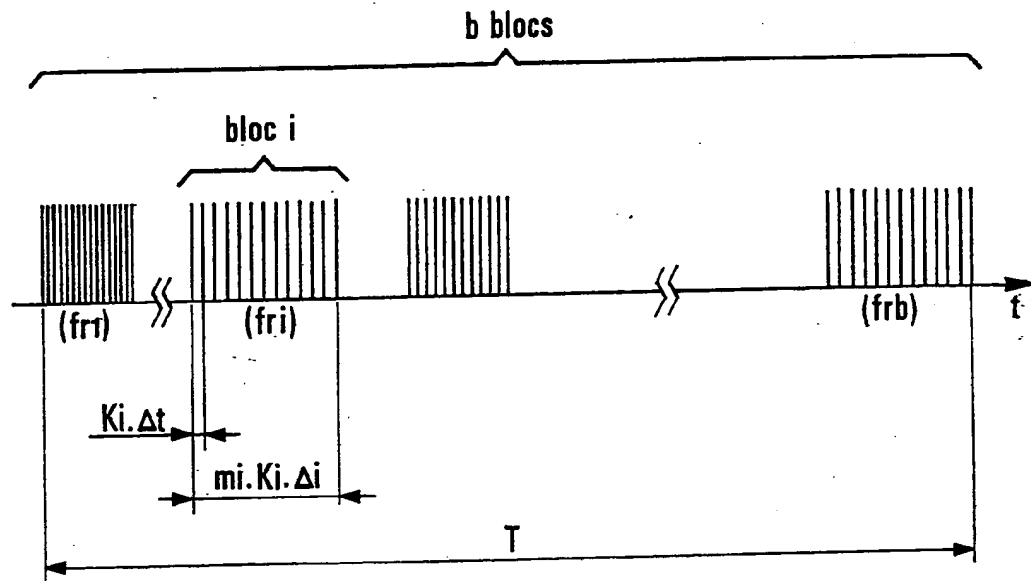


FIG.1

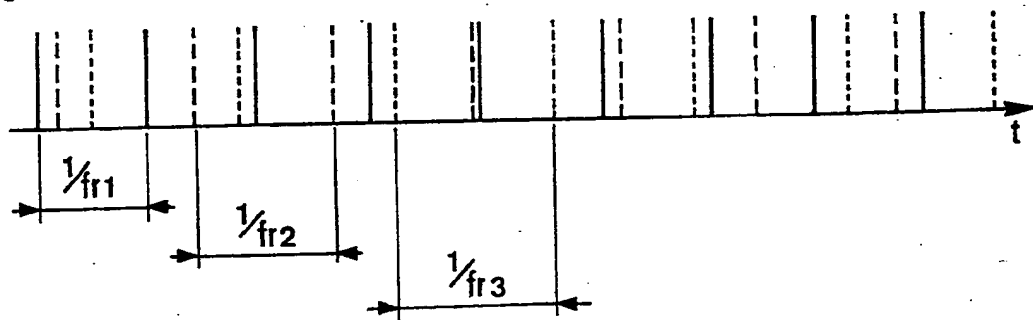


FIG.2

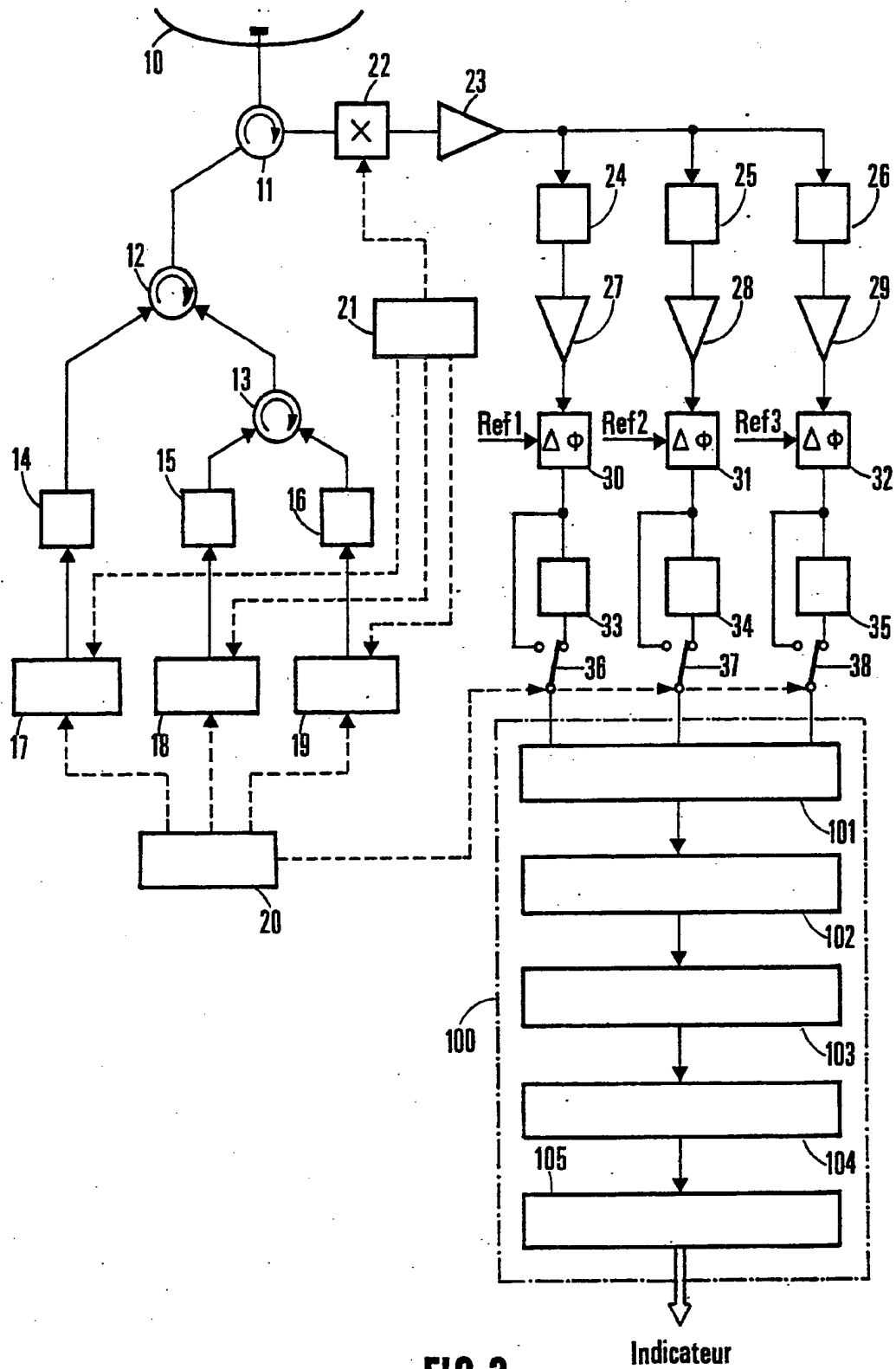


FIG.3

PL.III/3

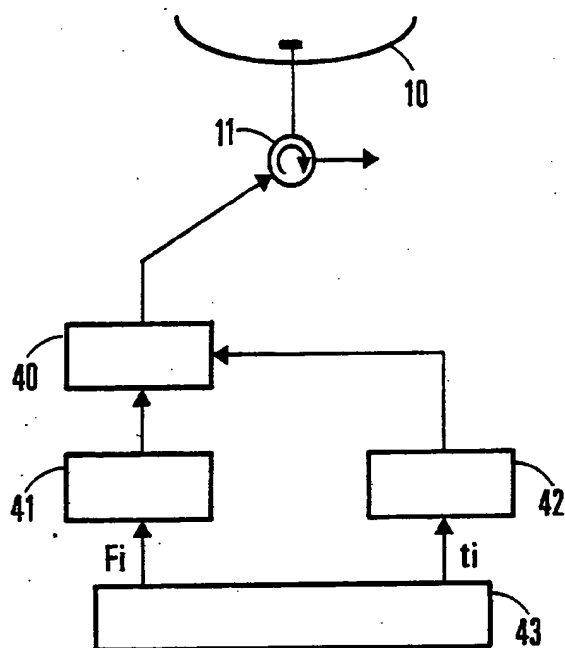


FIG. 4

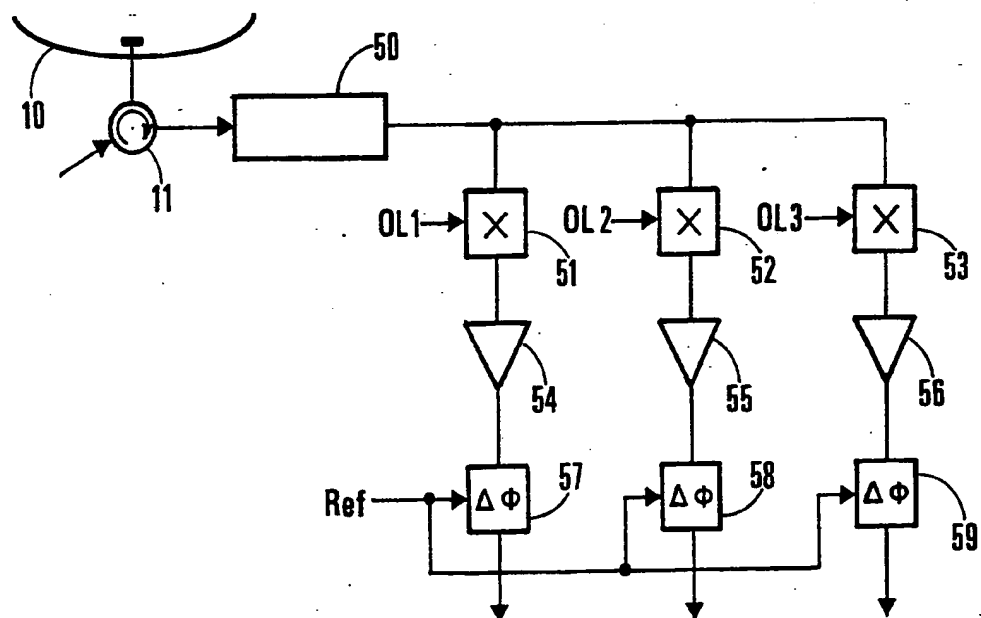


FIG. 5